

7. Зубков Ю.Ю. Дефосфорация высоколегированных расплавов с целью вовлечения в производство отходов металла и шлака с повышенным содержанием фосфора. М.: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2008.

8. Развитие бескоксовой металлургии / Н.А. Тулин, Б.А. Боковиков, С.А. Пчелкин [и др.]; под. ред. Н.А. Тулина, К.М. Майера. М.: Металлургия, 1987. 328 с.

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С РАСПЛАВОМ МЕДИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДНОЙ КАТАНКИ

Порох О.В., Воронов Г.В.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

Медная катанка предназначена для производства электротехнических изделий и, в основном, выпускается методом непрерывного литья и прокатки из катодной меди марки М00к по ГОСТ 546–88. Медная катанка является одним из главных составляющих в последующем производстве кабельной продукции.

Процесс производства медной катанки является высокотехнологичным и требует использования высокоточного оборудования для поддержания требуемого качества производимой продукции.

Существует две основные технологии производства медной катанки: «Contiroad», принадлежащая немецкой компании «SMS Meer» (холдинг «SMS Group») и «Southwire», принадлежащая американской компании «Southwire Company». В нашей стране представлены обе эти технологии.

На предприятии ОАО «Уралэлектромедь», занимающем первое место в стране по объему производимой катанки, применяется технология «Contiroad», на заводах ЗАО «Русская медная компания», занимающего второе место – установлена линия «Southwire».

В данной работе рассматривается технология «Contiroad» с использованием природного газа в качестве источника тепловой энергии.

Особенностью использования природного газа является необходимость учитывать химический состав дымовых газов, соприкасающихся с поверхностью жидкой меди, и режим аэродинамического потока, которые определяют массообмен и теплообмен между газовой средой и поверхностью расплава меди.

Природный газ вносит дополнительные возмущения в механизм массообмена продуктов сгорания и движущейся поверхности потока жидкой меди. Аэродинамический режим движения продуктов сгорания создает весьма чувствительное воздействие к возможным массообменным процессам с гидродинамической поверхностью потока жидкой меди. Периодически происходящее внезапное появления брака при производстве катанки, связанного с резким изменением содержания водорода [H] и кислорода [O] в меди подтверждают такое предположение.

Неконтролируемые и случайные изменения в показателях брака катанки не находят аргументированного объяснения. Однако, очевидно, что, по какой-то причине, происходит изменение химического состава продуктов сгорания. На первом этапе анализа возникшей ситуации нами предложен алгоритм расчета горения природного газа с учетом диссоциации углекислого газа {CO₂} и водяных паров {H₂O}.

Рассматриваемая технологическая схема производства медной катанки включает в себя шахтную печь для плавки катодов, промежуточный желоб, печь–миксер, разливочный желоб, кристаллизатор и прокатный стан.

Физико-химические реакции, газовой среды с жидкой медью, после выхода расплава из шахтной печи и в последующих элементах технологической схемы, оказывают влияние на качество жидкой меди на этапе разлива.

Считается, что основными элементами, влияющими на качество готовой продукции (медной катанки), являются кислород и водород, которые негативно влияют на качество медной катанки. Водород вызывает так называемые поверхностные трещины, а кислород значительно ухудшает электротехнические свойства меди и приводит к появлению трещин по всему объему катанки при прокатке и вытяжке.

Переход водорода и кислорода в расплав меди происходит в результате процессов массообмена, протекающих между поверхностью расплава и газовой средой, соприкасающейся с расплавом.

Для составления модели процесса перехода ионов кислорода и водорода в расплав меди, в первую очередь, необходимо провести анализ химического состава продуктов сгорания природного газа и их с расплавом меди, последовательно в каждом из указанных элементов технологической схемы (шахтная печь для плавки катодов, промежуточный желоб, печь-миксер, разливочный желоб, кристаллизатор и прокатный стан).

В первом приближении следует рассмотреть сочетание компонентов Cu, O₂, H₂, H₂O, CO, CO₂, N₂, NO_x и активных частиц O²⁻, H⁺, OH⁻, Cu²⁺, Cu⁺, N²⁺.

На первом этапе составления физико-химической модели протекающих реакций рассмотрены взаимодействия ионов меди с ионами H⁺, N²⁺, O²⁻, CO.

Вследствие малых концентраций науглероживающих компонентов и низкой растворимости углерода в меди, насыщение расплава меди углеродом из газовой фазы представляется маловероятным, поэтому в рассматриваемой модели данные реакции не учитываются.

Азот в меди не растворяется до температуры расплава 1400 °С (при атмосферном давлении). Данный факт представляется интересным для дальнейшего изучения, так как возможны варианты использования азота для продувки расплава меди, интенсифицируя тем самым процесс дегазации расплава.

Растворимость водорода в меди, зависит от его концентрации в газовой среде над расплавом и температуры расплава меди.

Парциальное давление водорода в печи может изменяться в широких пределах, но для расчетов с достаточной точностью можно принять это давление равным парциальному давлению водяных паров [1].

Количество водорода, которое может раствориться в меди непосредственно связано с содержанием кислорода как в расплаве меди, так и в атмосфере над расплавом. Кислород является наиболее активным газом по отношению к меди.

Кислород в меди может находиться и в растворенном состоянии, и образовывать оксиды.

Известно, что металл не растворяет соли и оксиды других металлов, а растворяет только свои низшие оксиды и соединения, обладающие полупроводниковыми свойствами [1], таким образом, в расплаве чистой (рафинированной) меди может присутствовать как растворенный атомарный кислород, так и оксиды меди.

В большинстве металлических расплавов (в т.ч. расплаве меди) растворимость кислорода с понижением температуры уменьшается. Однако газы в металлах, в том числе и кислород, могут растворяться только в атомном состоянии. Особенность поведения кислорода состоит в том, что этот газ при кристаллизации и последующем охлаждении сплава никогда не выделяется в свободном состоянии. При этом кислород из жидкого раствора либо целиком остается в твердом растворе, либо переходит в жидкие или твердые оксиды при кристаллизации, концентрируясь по границам зерен кристаллов. Для того, чтобы оксид существовал в самостоятельной фазе, необходимо определенное давление кислорода, которое называют равновесным.

Графическую зависимость, описывающую равновесное соотношение между концентрациями кислорода и водорода в меди, называют кривой Аллена, для которой при постоянной температуре будет выполняться следующее равенство: $[\%H]^3 [\%O]^2 = 1,88 \times 10^{-10} = \text{const}$.

Согласно опытам Аллена, медь поглощает весь свободный кислород, находящийся в газовой фазе над расплавом, следовательно, над расплавом может присутствовать только свободный водород и кислород в связанном состоянии.

Следует отметить, что на поверхности расплава происходит реакция водяного пара и меди: $[Cu] + H_2O = [Cu] + 2[H] + [O]$.

Медь поглощает освобождающийся при реакции разложения кислород, и в атмосфере над расплавом возникает парциальное давление водорода, которое обратно пропорционально содержанию кислорода в расплаве. Соответственно, количество растворенного водорода зависит не только от содержания кислорода в расплаве и его температуры, но и от давления водяного пара над расплавом.

Основные реакции, происходящие с продуктами сгорания природного газа в газовой фазе над расплавом, и уравнения констант равновесия этих реакций приведены ниже.

Реакция 1: $2H_2 + O_2 \leftrightarrow 2H_2O$;

$$k = \frac{(H_2O)^2}{(H_2)^2(O_2)};$$

$$\lg k = \frac{25116,1}{T} - 0,9466 \lg T - 7,216 \cdot 10^{-4} T + 1,618 \cdot 10^{-7} T^2 - 1,714$$

Реакция 2: $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$;

$$k = \frac{(CO_2)(H_2)}{(CO)(H_2O)};$$

$$\lg k = \frac{-2207,2}{T} + 0,9115 \lg T - 0,09738 T + 1,487 \cdot 10^{-7} T^2 + 0,098$$

Реакция 3: $2CO + O_2 \leftrightarrow 2CO_2$;

$$k = \frac{(CO_2)^2}{(O_2)(CO)^2};$$

$$\lg k = \frac{-29530,5}{T} - 2,769 \lg T + 0,001225 T - 1,356 \cdot 10^{-7} T^2 - 2,15$$

Графики зависимости констант равновесия реакций, рассмотренных выше, от температуры приведены на рис. 1.

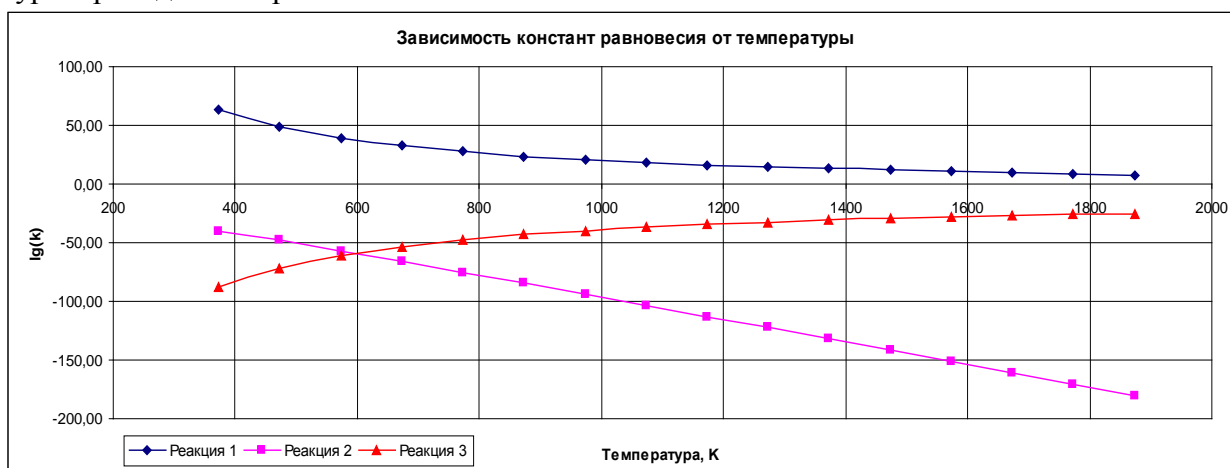


Рис. 1. Графики зависимостей констант равновесия от температуры

Далее, используя эмпирические зависимости степени диссоциации водяного пара и углекислого газа от их концентрации в продуктах сгорания при различных температурах

(рис. 2; 3), рассмотрим, как будет изменяться концентрация анализируемых продуктов сгорания при:

1) изменении температуры газовой фазы и постоянном коэффициенте соотношения газ–воздух (рис. 4);

2) постоянной температуре газовой фазы и изменяющемся коэффициенте соотношения газ–воздух (рис. 5).

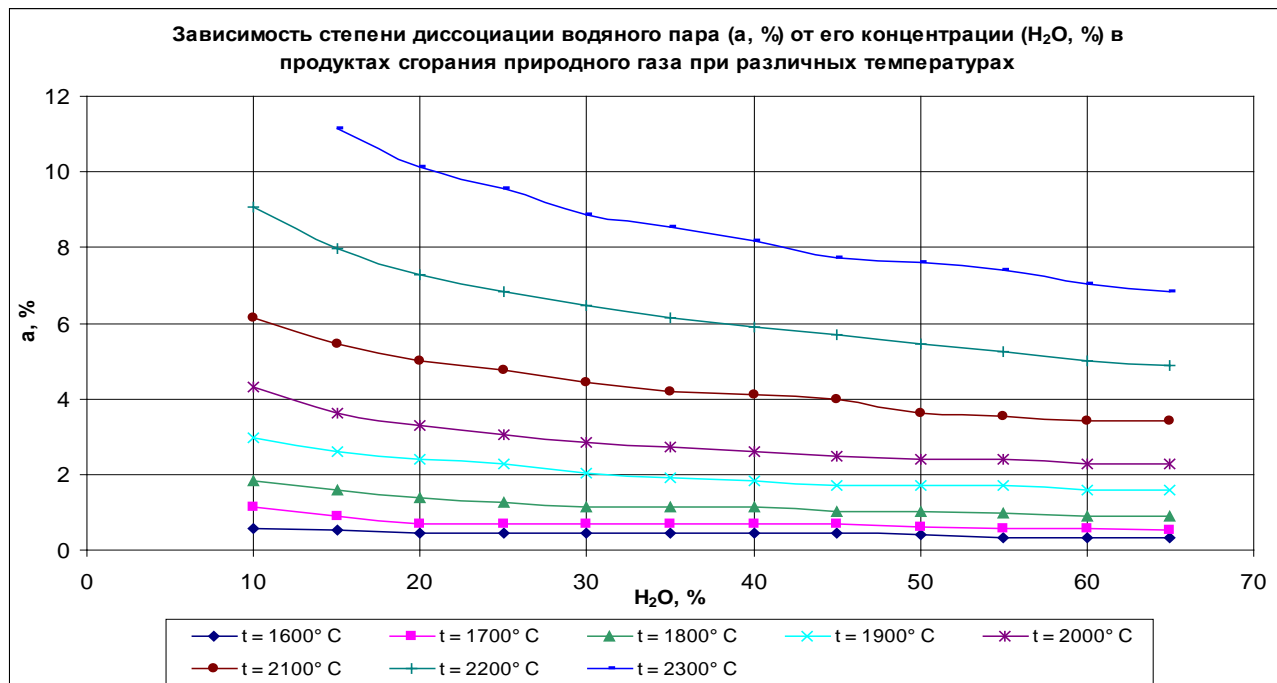


Рис. 2. Зависимость степени диссоциации водяного пара от его концентрации в продуктах сгорания при различных температурах

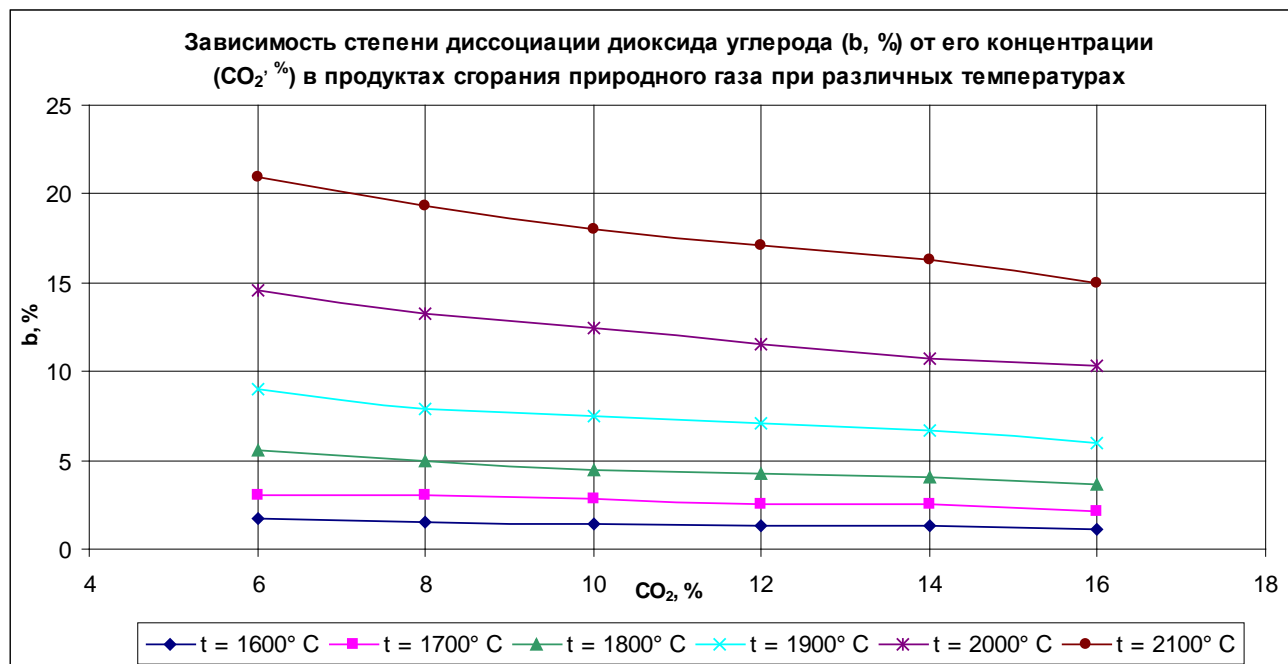


Рис. 3. Зависимость степени диссоциации углекислого газа от его концентрации в продуктах сгорания при различных температурах

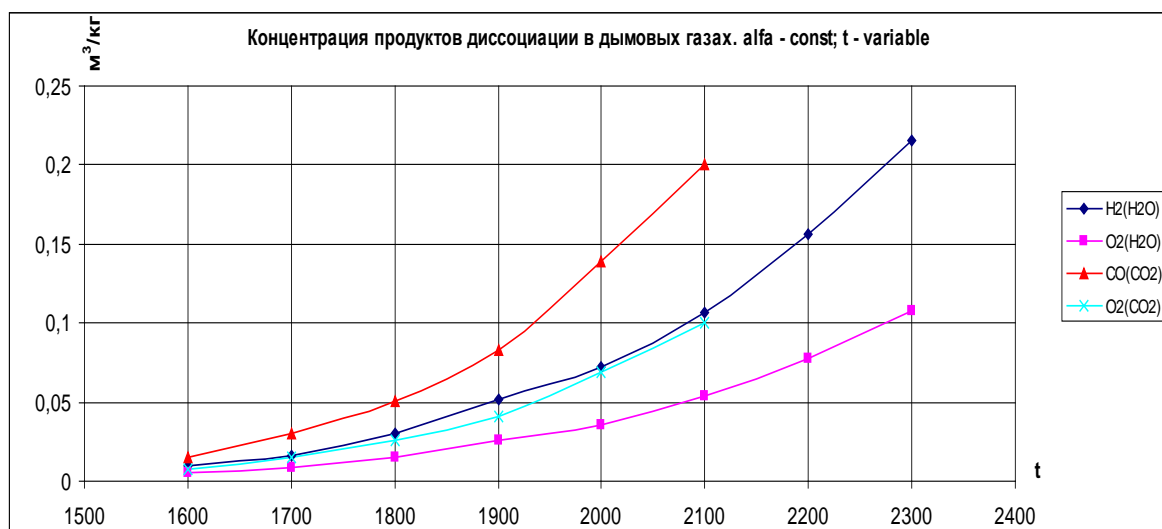


Рис. 4. Изменение концентрации дымовых газов при постоянном коэффициенте соотношения газ–воздух и изменяющейся температуре газовой фазы

Как видно из графиков на рисунке 4 диссоциация продуктов окисления природного газа CO_2 и H_2O происходит с заметным результатом при температуре выше 1700°C .

Анализ массообменных процессов при стационарном тепловом режиме дифференцированный по элементам технологической линии «Contiroad»: шахтная печь, соединительный желоб, печь–миксер, литейный желоб, кристаллизатор позволяет в полной мере учесть возможные факторы, влияющие на содержание водорода [H] и кислорода [O] в готовом продукте.

Баланс водяных паров в продуктах сгорания, учитывающий количество водяных паров, образующееся из водорода, углеводов природного газа и влагосодержания воздуха, подаваемого на горение, позволяет оценить возможные пути перехода водорода в медь. Водяные пары – единственный поставщик водорода в медь при условии полного выгорания углеводов.

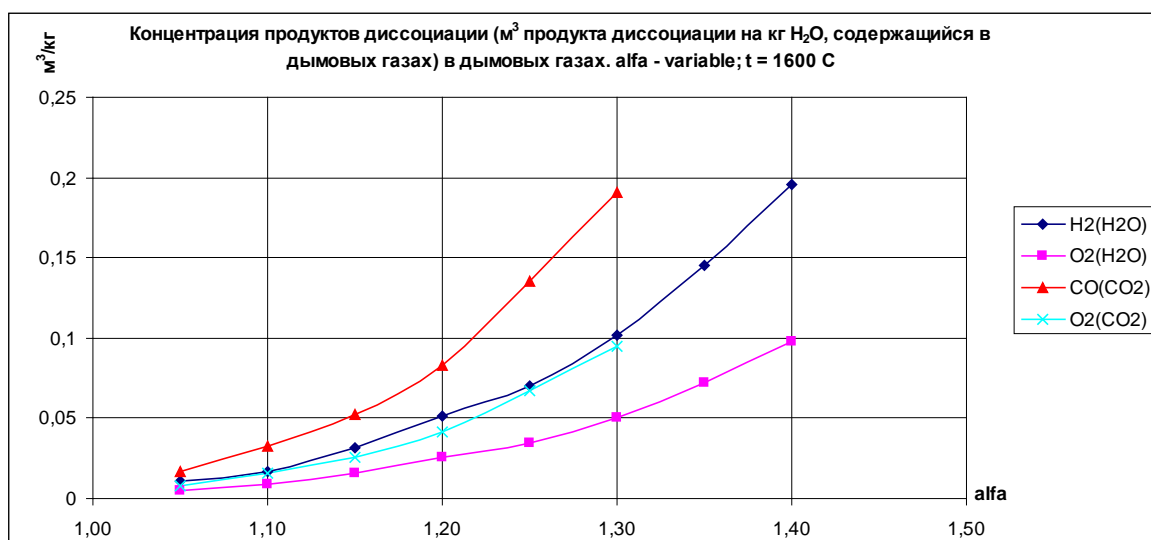


Рис. 5. Изменение концентрации дымовых газов при постоянной температуре газовой фазы и изменяющемся коэффициенте соотношения газ–воздух

Равновесная концентрация свободного кислорода в продуктах сгорания природного газа зависит не только от его избыточного количества, коэффициента расхода воздуха, степени диссоциации $\{\text{CO}_2\}$ и $\{\text{H}_2\text{O}\}$, но и от возможной реакции взаимодействия водяного пара с жидкой медью при непосредственном их контакте.

Список использованных источников

1. Мир художественного литья. История технологии / Н.И. Бех, В.А. Васильев, Э.Ч. Гини, А.М. Петриченко. УРСС. М.: 1997.
2. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук [и др.]; под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
3. Физико-химические основы литейного производства: учебник / В.А. Васильев. М.: МГТУ, 1994. 320 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Н.П. Лякишев. М.: 1996.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ

Спитченко Д.И.*, Вохмяков А.М.*, Киселев Е.В.*,

Казяев М.Д.*, Казяев Д.М.**

* ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

** ООО «НПК «УралТермоКомплекс», г. Екатеринбург, Россия

На заводах тяжелого машиностроения эксплуатируют вертикальные печи для термической обработки крупных длинномерных поковок.

На ОАО «Уралмашзавод» подобные печи применяют для нагрева роторов турбин и прокатных валков с целью их термической обработки. Построенные в начале прошлого века, эти печи к настоящему моменту морально и физически устарели. Повышенные требования к качеству термической обработки предопределяют модернизацию этих тепловых агрегатов.

В данной статье изложены конструктивные особенности и тепловая работа до и после технического перевооружения одной из вертикальных печей кузнечно-прессового цеха Уралмашзавода.

Конструкция и тепловая работа печи до технического перевооружения

Камерная вертикальная печь № 22 была построена по кирпичной технологии, с двухслойной футеровкой. Огнеупорный слой был выполнен из шамота класса А, теплоизоляционный слой – из шамота легковеса. Толщина футеровки составляла 460 мм, что при работе печи в периодическом режиме приводило к значительной аккумуляции тепла кладкой. Свод печи был выполнен в виде двух раздвижных полукрышек. Загрузка печи осуществлялась сверху. Высота рабочего пространства печи 12м, внутренний диаметр – 3м. Изделия в печи подвешивают на специальной траверсе, опирающейся на балки. Устаревшая конструкция крышки приводила к неплотностям и, как следствие, к большим тепловым потерям с выбивающимися газами, что негативно сказывалось на расходе топлива. Дымоотведение из рабочего пространства осуществлялось через дымоотводящий канал, расположенный в поду печи, дымовой боров и дымовую трубу, общую для нескольких печей. Печь была оснащена 13 горелками конструкции УЗТМ. Подогрев воздуха, подающегося на горение, отсутствовал. Ведение теплового режима печи осуществлялось вручную обслуживающим персоналом.

Применение кирпичной футеровки, горелок устаревшей конструкции, ручное управление печью приводило к низкому КПД печи, значительным энергозатратам, низкому качеству нагрева и снижению производительности.

Для подтверждения описанного выше был рассчитан тепловой баланс для режима нормализации при нагреве ротора максимальной массой 60 т. Баланс составлен для интервала температур 700...960 °С, при котором устанавливается максимальная скорость нагрева садки, требующая максимальных затрат топлива.

В ходе расчета использовались следующие исходные данные: